



HAL
open science

Résistance du poisson chat (*Ameiurus nebulosus* L.) à de brusques variations de température. 1. partie

N. Charlon

► **To cite this version:**

N. Charlon. Résistance du poisson chat (*Ameiurus nebulosus* L.) à de brusques variations de température. 1. partie. Bulletin français de Pisciculture, 1968, 230, pp.5-25. hal-02732233

HAL Id: hal-02732233

<https://hal.inrae.fr/hal-02732233>

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

BULLETIN FRANÇAIS DE PISCICULTURE

QUARANTE ET UNIÈME ANNÉE.

N° 230

30 SEPTEMBRE 1968

RESISTANCE DU POISSON-CHAT (*Ameiurus nebulosus* L.) A DE BRUSQUES VARIATIONS DE TEMPERATURE

par N. CHARLON

Licenciée ès-Sciences

Mémoire présenté devant la Faculté des Sciences
de l'Université de Toulouse.

S O M M A I R E

	Pages
— INTRODUCTION	6
— CHAPITRE PREMIER - DONNEES ACTUELLES SUR LA RESISTANCE DES POISSONS AUX VARIATIONS DE TEMPERATURE	8
1. - PHENOMENE D'ACCLIMATATION - CALCUL DU TL 50 ET DU LD 50	8
2. - TEMPERATURES LETALES INFÉRIEURE ET SUPÉRIEURE MAXIMA. ZONE DE TOLÉRANCE, ZONE DE RESISTANCE ET ZONE DE MORT INSTANTANÉE	11
3. - ÉVALUATION DE LA TOLÉRANCE THERMIQUE D'UNE ESPÈCE DÉTERMINÉE	12
3.1. - Principe de l'évaluation	12
3.2. - Comparaison des résultats et discussion	14
4. - VARIATIONS GÉOGRAPHIQUES DE LA TOLÉRANCE THERMIQUE	14
5. - TEMPERATURES LETALES ET CONDITIONS NATURELLES	16
5.1. - Variations saisonnières de la température létale	16
5.2. - Phénomène de sommation dans le processus d'acclimatation	16
— CHAPITRE DEUXIÈME - MATÉRIEL DE RECHERCHES ET STOCKAGE	18

— CHAPITRE TROISIEME - TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION ET APPAREILLAGE	19
1. - PROCESSUS D'ACCLIMATATION	20
1.1. - Technique d'expérimentation	20
1.2. - Appareillage	20
2. - EXPERIENCES SUR LES TEMPERATURES LETALES	22
2.1. - Technique d'expérimentation	22
2.2. - Appareillage	23
3. - CONDITIONS EXPERIMENTALES	23
3.1. Nutrition	23
3.2. - Oxygénation	25
— CHAPITRE QUATRIEME - RESULTATS ET DISCUSSION	
1. - RESULTATS NUMERIQUES ET INTERPRETATION	
1.1. - Influence de l'acclimatation sur la résistance du Poisson-Chat aux variations thermiques brusques	
1.2. - Influence de la taille et du poids sur la résistance du Poisson-Chat aux variations thermiques brusques	
1.3. - Interprétation statistique des résultats	
2. - DISCUSSION	
3. - APPLICATION PRATIQUE : CAS DES EAUX DE REJET D'UNE CENTRALE THERMIQUE	
— CONCLUSIONS GENERALES	
— ANNEXE - LD 50 DE DIVERSES ESPECES DE POISSONS DULCAQUICOLES EXISTANT EN FRANCE	
— BIBLIOGRAPHIE	

à paraître dans le Bulletin n° 231

INTRODUCTION

La température de l'eau peut être considérée comme un facteur écologique très important du fait de son incidence sur la vie aquatique en général, et sur les populations piscicoles en particulier.

Ce sujet devient un problème d'actualité en France, où le nombre des Centrales thermiques augmente rapidement pour répondre aux besoins d'énergie électrique sans cesse croissants.

Il existe maintenant en France une quarantaine de Centrales thermiques classiques ou nucléaires placées au bord des rivières, ces Centrales ayant pour caractéristiques de prélever un certain volume d'eau pour le refroidissement de leurs condenseurs, et de le restituer intégralement en aval à une température supérieure à celle de l'admission.

Cette élévation thermique se situe pour les Centrales de type classique entre 7 et 8° C au maximum, sauf dans le cas d'une recirculation ; en effet, si le débit prélevé par la Centrale est supérieur au débit local de la rivière, une partie de l'eau du rejet déjà chaude est réaspirée, et la température de l'eau rejetée à la sortie de la Centrale est donc supérieure à la température mesurée dans des conditions normales.

Il convient de noter que, par brassage et refroidissement naturel, l'augmentation de température constatée dans le canal de rejet diminue rapidement et que la température de l'eau reprend la valeur qu'elle avait en amont de la prise, à quelques kilomètres en aval du rejet (au maximum 10 km).

Toutefois, ce changement de température peut poser des problèmes localement, surtout en été lorsque le débit des rivières est plus faible.

Aux U.S.A., où la situation devient cruciale (réchauffement atteignant parfois 15° C), de nombreux groupes d'études ont été créés pour dégager les différents aspects de ce problème.

En France, l'E.D.F. s'est rapidement préoccupé de cette question et a créé dès 1961, avec le concours de divers organismes scientifiques, le « Comité Scientifique de Montereau », chargé de mettre en évidence les incidences biologiques du phénomène appelé couramment maintenant « pollution thermique », et de préciser l'échauffement limite qu'il est raisonnable d'admettre dans nos rivières françaises.

La Centrale thermique de Montereau a été choisie comme terrain d'investigation : cette Centrale, d'une puissance totale de 750 MW, est implantée au bord de la Seine, à 90 km en amont de Paris et à 9 km en aval de Montereau. L'eau de refroidissement des condenseurs est prélevée en Seine par l'intermédiaire d'une darse, et restituée plus en aval par un canal de rejet de 450m de long (Fig. 1).

Lorsque la Centrale fonctionne à pleine charge, le débit prélevé est de 28 m³/s, et le réchauffement est de 7 à 8° C ; or, en période d'étiage, le débit de la Seine est d'environ 30 m³/s, soit pratiquement la quantité d'eau de circulation nécessaire à la Centrale.

Le « Comité Scientifique de Montereau » a mis au point un programme de recherches très vaste comprenant :

— une étude physico-chimique locale de la Seine, afin de mettre en évidence les répercussions éventuelles de la Centrale sur la répartition d'ensemble des températures, et la composition chimique de l'eau en amont du prélèvement et dans le canal de rejet.

— une étude biologique de la flore et de la faune benthique et planctonique de la rivière.

— une étude bactériologique du milieu.

— une étude des populations piscicoles effectuée par capture et marquage des Poissons en aval de la Centrale.

— et enfin, une étude de la répercussion des modifications thermiques sur la physiologie des Poissons.

Le travail présenté dans ce mémoire s'intègre dans ce dernier type d'étude.

Comme les autres Poikilothermes, les Poissons dépendent plus des conditions thermiques du milieu que les animaux homéothermes qui, grâce à des mécanismes régulateurs plus ou moins complexes, présentent une température centrale constante, quelles que soient les variations de la température extérieure.

Chez la majorité des Poissons, la température du corps ne diffère que de 0,5° C à 1° C du milieu aquatique dans lequel ils vivent ; or, les variations du métabolisme sont étroitement liées aux variations thermiques qui souvent se révèlent être des stimuli naturels déclenchant certains processus vitaux comme les phénomènes de frai, de migration...

C'est pourquoi la résistance des différentes espèces de Poissons aux variations thermiques constitue un sujet d'étude fondamental ; c'est un des facteurs les plus importants qui entrent dans la détermination du nouvel équilibre biocénologique qui a tendance à s'établir dans le milieu, telle espèce disparaissant du fait de la compétition avec telle autre espèce particulièrement résistante aux élévations de température.

De plus, ce problème a un intérêt pratique évident puisqu'il donne des éléments de base pour définir la productivité de la Seine, qui est une rivière très fréquentée par les pêcheurs (90 000 pêcheurs inscrits en Seine-et-Marne, sans compter ceux qui viennent de l'extérieur et de Paris en particulier).

Le but de ce travail sur le Poisson-Chat est de déterminer la résistance thermique de cette espèce, en essayant si possible de mettre en évidence les différences qui pourraient se manifester chez les individus de taille et de poids différents.

Dans ces expériences, l'acclimatation préalable a été effectuée avec beaucoup de soins, pour essayer de déterminer avec précision l'influence de ce phénomène sur la résistance thermique ultérieure de l'espèce.

CHAPITRE PREMIER

DONNÉES ACTUELLES SUR LA RÉSISTANCE DES POISSONS AUX VARIATIONS DE TEMPÉRATURE

De nombreux travaux ont été effectués pour mettre en évidence la tolérance thermique de diverses espèces de Poissons. On peut trouver dans ce chapitre une revue assez complète de la bibliographie à ce sujet, avec les conclusions que l'on peut en tirer.

1. — PHÉNOMÈNE D'ACCLIMATATION, CALCUL DU TL 50 ET DU LD 50

Le travail le plus ancien traitant de l'adaptation des Poissons aux températures élevées est celui de LOEB et WASTENEYS (1912), qui est un des premiers travaux d'approche sur le genre *Fundulus*.

Ils montrèrent que *Fundulus* mourait en 4 minutes dans de l'eau distillée à 35° C, alors que des Poissons conservés pendant 30 heures ou plus à 27° C, pouvaient être considérés comme « immunisés » (1) à 35° C.

Il convient de ne pas trop s'attarder sur ce groupe d'expériences du fait du manque de précision dans le mode d'expérimentation et dans l'interprétation.

C'est cependant la première mise en évidence de l'importance de l'acclimatation (2) pour une espèce de Poisson.

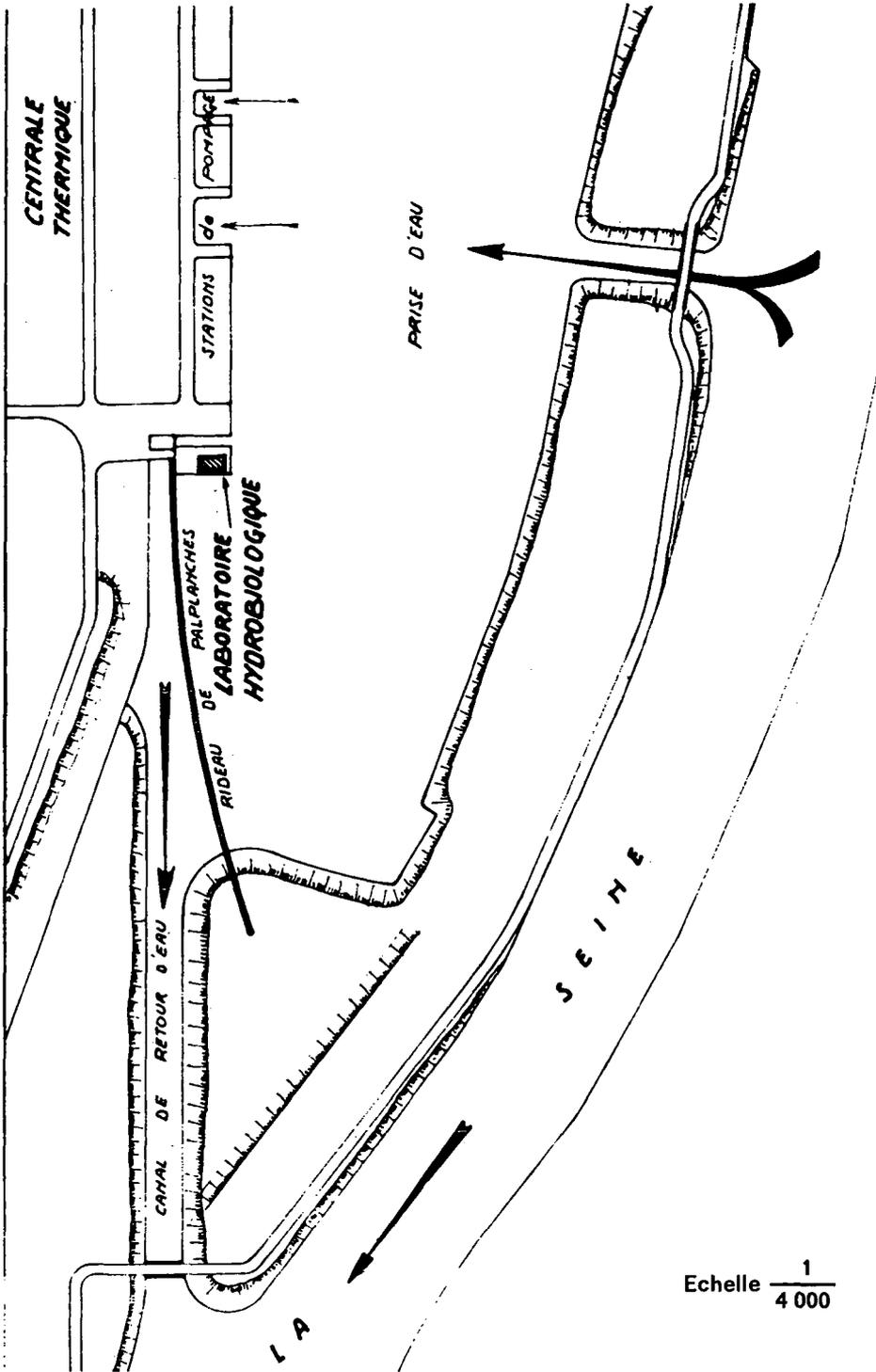
HATHAWAY (1927) a effectué une étude plus rationnelle de la tolérance thermique des poissons à la chaleur.

Il expérimentait :

— d'une part, sur des Poissons n'ayant subi aucune acclimatation préalable, Poissons qu'il qualifiait de « normaux ». Il mesurait alors la température maximum

(1) Terme de l'auteur.

(2) Les auteurs anglo-saxons distinguent les termes « acclimatation » pour définir tous les changements physiologiques que subissent les Poissons testés au laboratoire, et « acclimatization » pour définir les variations imposées aux Poissons dans leur habitat naturel.



Echelle $\frac{1}{4\ 000}$

Fig. 1 — Centrale de Montreau

tolérée, le transfert s'opérant directement du bac de stockage dans l'aquarium expérimental.

— d'autre part, sur des Poissons ayant subi une acclimatation préalable.

Il a ainsi déterminé les températures maxima que ces Poissons pouvaient supporter pendant 24 heures, et a montré que par acclimatation préalable, il pouvait obtenir un changement appréciable de la température de survie.

Il semble que la capacité de tolérer des températures élevées chez le Poisson est acquise d'une façon relativement rapide.

DOUDOROFF (1942) et BRETT (1944) ont montré que l'acclimatation s'effectuait en moins de 24 heures pour des températures supérieures à 20° C.

Réciproquement, la perte de cette acclimatation et la possibilité de supporter des températures relativement basses sont des processus plus lents, demandant jusqu'à 20 jours chez certaines espèces. Ce phénomène semble être dû au métabolisme qui, réduit du fait de la température environnante basse, provoque un ralentissement du processus d'acclimatation.

Actuellement, dans les expériences de létalité, l'acclimatation est effectuée au rythme de 1° C par jour, vitesse qui apparaît être bien supérieure à la limite nécessaire à une acclimatation complète (BRETT, 1944).

Actuellement, deux méthodes sont utilisées pour déterminer la tolérance thermique d'une espèce donnée de Poisson ; elles consistent à calculer le TL 50 et le LD 50 d'après des tests couramment utilisés en toxicologie, la température étant, dans ce cas, assimilée à un produit devenant toxique pour certaines valeurs.

— Calcul du TL 50 (test mortalité - temps).

Ce test consiste à soumettre un échantillon de Poissons, acclimatés à une température bien définie, supérieure ou inférieure à cette température d'acclimatation. Le pourcentage de mortalité est alors noté en fonction du temps, et le TL 50 (temps théorique au bout duquel 50 % des individus meurent) peut être calculé.

— Calcul du LD 50 (test mortalité - dose).

Ce test consiste à déterminer le pourcentage de mortalité après un temps constant (24 heures généralement), en fonction de températures croissantes ou décroissantes, à partir d'une température d'acclimatation originelle bien définie.

La représentation directe en échelle arithmétique des pourcentages de mortalité en ordonnée, et des températures en abscisse, conduit à des courbes d'allure sigmoïde, à partir desquelles on peut calculer le LD 50 (température théorique à laquelle 50 % des Poissons meurent en un temps donné). Le LD 50 obtenu par interpolation peut être ainsi calculé pour toute une gamme de températures d'acclimatation (Fig. 2).

Il convient de remarquer deux faits au sujet des valeurs obtenues de cette façon pour le TL 50 et le LD 50.

1. - Les Poissons sont étudiés en aquarium où ils sont au repos et où les autres conditions du milieu sont généralement très favorables. Le LD 50 peut donc être considérablement abaissé dans les conditions naturelles, si le Poisson est actif, si le taux d'oxygène est faible, et s'il y a des matières toxiques en solution dans le milieu.

2. - Les températures correspondant à des températures mortelles pour 50 % des Poissons en expériences ne peuvent absolument pas être considérées comme des températures permettant une vie normale de l'espèce étudiée, et doivent être obligatoirement complétées par des études physiologiques (de nutrition, de respiration, de reproduction) et des observations sur le terrain.

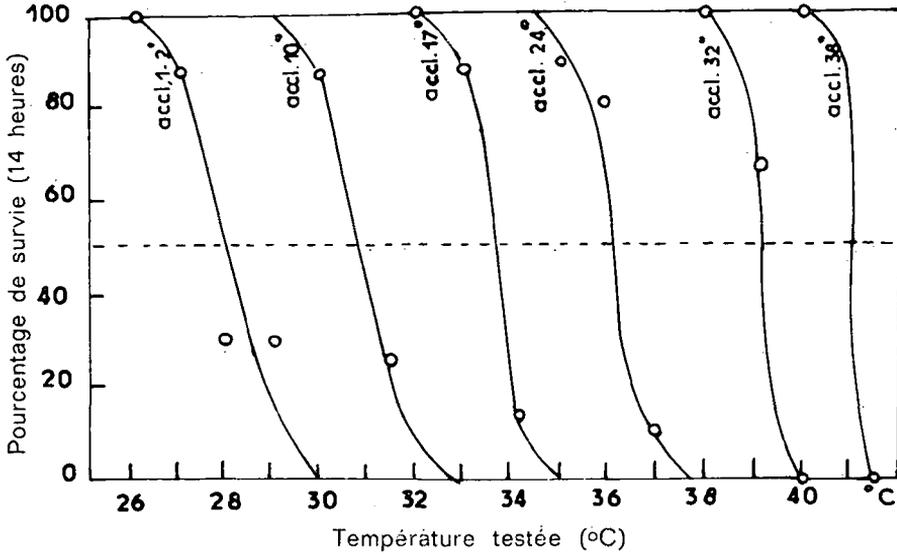


Fig. 2 — Mesure du LD 50

— en ordonnée : % de survie au bout de 14 h

— en abscisse : température testée

(d'après FRY, BRETT et CLAWSON, 1952, étude sur le Cyprin doré, *Carassius auratus* L.)

2. — TEMPERATURES LÉTALES INFÉRIEURES ET SUPÉRIEURES ZONE DE TOLÉRANCE, ZONE DE RÉSISTANCE ET ZONE DE MORT INSTANTANÉE

D'une façon générale, lorsque la température d'acclimation croît, les températures létales augmentent progressivement aussi.

La première étude complète de la tolérance thermique d'une espèce de Poisson a été effectuée par l'équipe de FRY, BRETT, et CLAWSON (1942), sur Le jeune Cyprin doré, *Carassius auratus* L.

Ils montrèrent aussi que la température létale augmentait de 1° C environ pour un accroissement de 3° C de la température d'acclimation (Fig. 3).

D'une façon analogue, la température létale diminue de 2° C chaque fois que la température d'acclimation est abaissée de 3° C.

Plus tard, COCKING (1959) trouva la même relation chez le gardon, *Rutilus rutilus* L.

Chez le Saumon de fontaine d'un an, *Salvelinus fontinalis* (MITCHILL), la température létale supérieure est beaucoup plus stable, et il faut un changement de 7° C de la température d'acclimation pour obtenir un changement de 1° C dans la température létale supérieure (FRY, HART, et WALKER, 1946).

Nous voyons que, pour une température d'acclimation donnée, chaque espèce de Poisson présente une gamme de températures plus ou moins étendue, où elle peut vivre pendant un temps déterminé.

Cette gamme de températures présente une limite supérieure appelée « température létale supérieure » (1) au-dessus de laquelle l'animal ne peut vivre indéfiniment, mais peut cependant survivre pendant une période limitée.

Dans des conditions soigneusement définies, la température létale supérieure est remarquablement précise, et peut être déterminée pour beaucoup d'espèces à $\pm 0,2^{\circ}$ C près (BRETT, 1956).

De même, on peut noter une « température létale inférieure » (2). C'est généralement le point de congélation mais, pour des Poissons acclimatés à des températures relativement élevées, cette température peut être supérieure à 0° C.

Le temps d'expérience est actuellement le plus souvent de 24 heures. En effet, après 24 heures, le pourcentage de mortalité reste stable, et on considère que le Poisson peut vivre indéfiniment à cette température.

Ces deux températures létales inférieure et supérieure limitent ce qu'on appelle la « zone de tolérance » du Poisson. Pour les températures respectivement supérieures et inférieures à ces dernières températures, l'animal est dans une « zone de résistance ».

Au-dessus de la température létale supérieure, le temps de résistance diminue avec une augmentation progressive de la température, jusqu'à une température limite, où l'animal est tué instantanément si on le transfère directement de la température d'acclimatation à cette température (Fig. 4).

3. — EVALUATION DE LA TOLERANCE THERMIQUE D'UNE ESPECE DETERMINEE

3.1. — Principe de l'évaluation

En augmentant la température d'acclimatation, la température létale supérieure augmente jusqu'à un palier que l'on ne peut dépasser, un accroissement supplémentaire de la température d'acclimatation s'avérant impossible. Cette limite de l'acclimatation existe aussi pour les basses températures. Ce sont les températures « létale supérieure maximum » et « létale inférieure minimum » (3).

Ainsi, le graphique complet de la réaction thermique pour une espèce déterminée de Poisson peut être schématisé par un trapézoïde du type de celui représenté dans la figure 5, et appelé dans la littérature « trapèze de tolérance thermique », bien que ce terme ne soit pas très rigoureux, la figure pouvant avoir 4, 5 ou 6 côtés suivant la progression relative de la température létale par rapport à la température d'acclimatation.

Dans les limites du trapèze, nous avons une « zone de tolérance » englobant toutes les températures pour lesquelles une existence pour un temps infini est possible (ce temps étant ramené généralement à 24 heures pour les commodités de l'expérimentation).

A droite, se trouvent les températures trop élevées pour permettre une acclimatation. Au-dessus du trapèze, se trouve « la zone de résistance » à la chaleur comprenant les températures que le Poisson peut supporter pendant une période limitée. Au-delà se trouverait « la zone de mort instantanée ».

(1) Les auteurs anglo-saxons emploient les expressions : « thermal death point » ou « upper incipient lethal temperature ».

(2) Les auteurs anglo-saxons emploient les expressions : « cold death point » ou « lower incipient lethal temperature ».

(3) Les auteurs anglo-saxons emploient respectivement les expressions « ultimate upper lethal temperature » et « ultimate lower lethal temperature ».

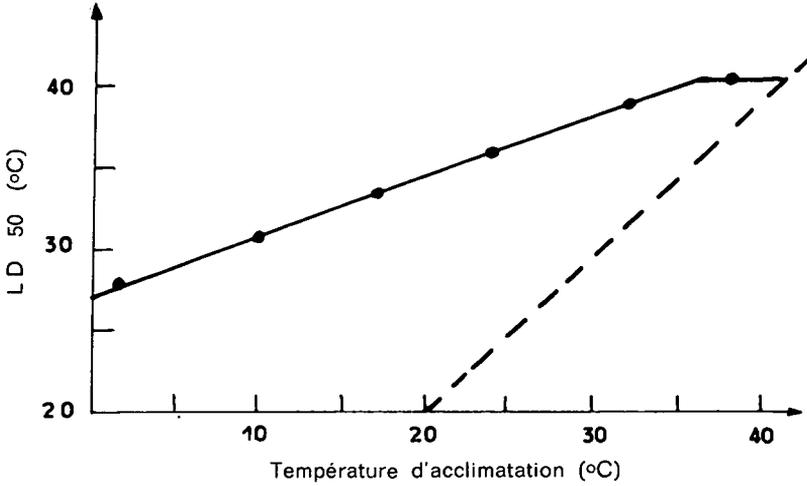


Fig. 3 — Relation entre la température d'acclimation et la température à laquelle 50 % des sujets peuvent survivre pendant 14 heures
 — en ordonnée : LD 50
 — en abscisse : température d'acclimation
 (d'après FRY, BRETT et CLAWSON, 1952, étude sur le Cyprin doré, *Carassius auratus* L.)

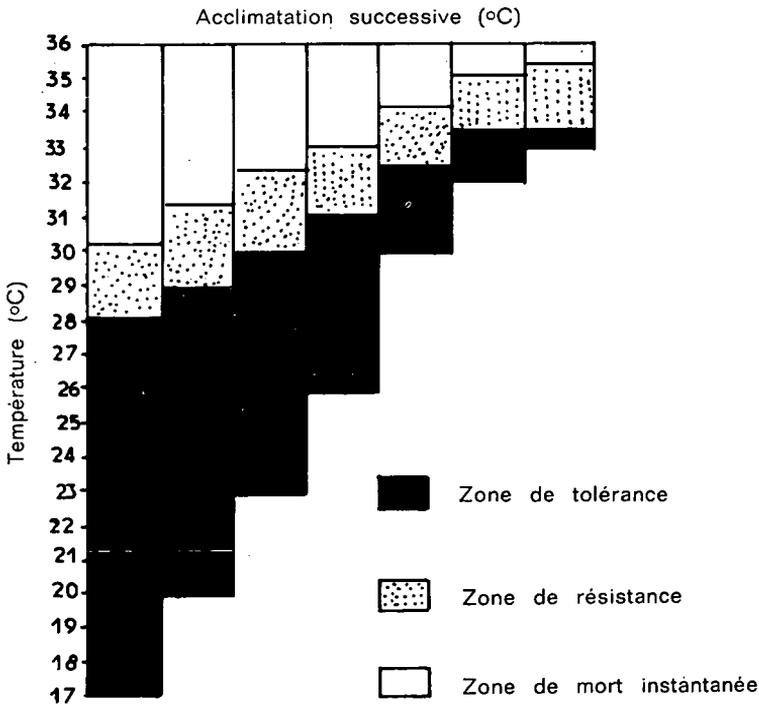


Fig. 4 — Diagramme montrant le comportement thermique du Gardon (*Rutilus rutilus* L.) acclimaté à 20, 23, 26, 30, 32 et 33° C

La zone de résistance est limitée à la partie inférieure par un trait horizontal, représentant la température létale supérieure, et à la partie supérieure, par une ligne représentant la température de mort instantanée.

Le trait horizontal inférieur, limitant la zone de tolérance, représente la température d'acclimation

(d'après A. W. COCKING, 1958)

D'une façon analogue, la partie inférieure du trapèze limite une « zone de résistance » au froid.

La surface du trapèze, exprimée en degrés Celsius carrés, donne quantitativement la tolérance thermique de l'espèce considérée.

3.2 — Comparaison des résultats et discussion

De nombreux résultats ont été donnés pour différentes espèces de Poissons. Les tableaux placés en annexe à la fin de ce mémoire donnent, pour une espèce déterminée, le LD 50 correspondant à une température d'acclimatation précise, et l'évaluation de la tolérance thermique quand elle a été calculée.

Il convient d'être prudent pour l'interprétation de ces résultats car le mode d'expérimentation des différents auteurs n'est jamais identique et de nombreux doutes subsistent, en particulier au sujet de la rigueur du processus d'acclimatation. Or cette période préexpérimentale est essentielle (GIBSON, 1953).

De plus, le nombre des échantillons testés est le plus souvent trop faible pour pouvoir calculer un pourcentage permettant une interprétation statistique valable.

L'étude des tableaux permet de distinguer les Poissons nettement sténothermes, c'est-à-dire ne pouvant s'adapter qu'à des fluctuations thermiques relativement faibles, et les Poissons nettement eurythermes qui peuvent supporter un éventail de températures considérable.

La figure 6 représente le trapèze de tolérance thermique de deux espèces différentes à ce point de vue.

Ameiurus nebulosus L., avec une température létale supérieure maximum de 37 °C, et une tolérance thermique de 1 162 unités (BRETT, 1944), est une des espèces les plus eurythermes après le jeune Cyprin doré, *Carassius auratus* L. qui a une tolérance thermique de 1 220 unités (COCKING, 1957)

Oncorhynchus keta (Walbaum), avec une température létale supérieure maximum de 23° C, et une tolérance thermique de 468 unités (BRETT, 1952). semble être l'espèce la plus sténotherme connue jusqu'à présent.

Les Salmonidés sont, d'une façon générale, des Poissons très exigeants du point de vue thermique.

Les Cyprinidés, à l'exception du Carassin doré, *Carassius auratus* L., occupent une position intermédiaire avec une tolérance thermique voisine des Salmonidés, mais avec cependant une résistance beaucoup plus marquée pour les hautes températures.

Les Percidés et les Centrarchidés se situent de part et d'autre de la zone de tolérance des Cyprinidés, les Percidés étant relativement moins résistants, et les Centrarchidés relativement plus résistants.

4. — VARIATIONS GEOGRAPHIQUES DE LA TOLERANCE THERMIQUE

BLACK (1953) a étudié les températures létales supérieures de certaines espèces de Colombie Britannique, et a comparé ses résultats avec ceux obtenus pour des espèces identiques venant du Lac Ontario (BRETT, 1944 ; FRY et al, 1946 ; HART, 1947), et des U.S.A. (HART, 1952).

Bien que des différences de tolérance aient été mises en évidence, il souligne qu'elles ne doivent pas être systématiquement attribuées à des facteurs géographiques, le processus d'acclimatation et la technique d'expérimentation étant souvent différents selon les auteurs.

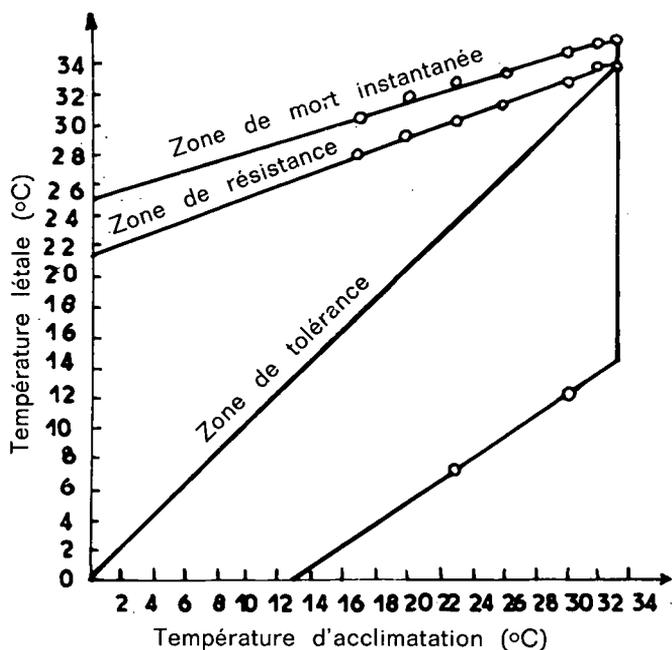


Fig. 5 — Zone de tolérance thermique et de résistance thermique du Gardon (*Rutilus rutilus* L.)
(d'après A. W. COCKING, 1957)

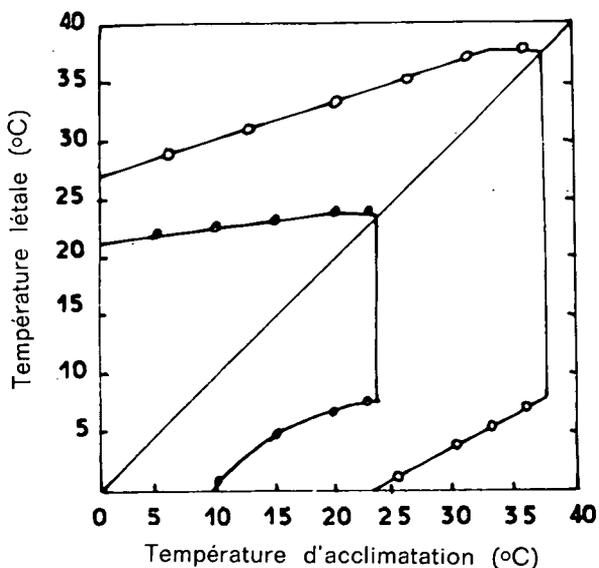


Fig. 6 — Comparaison de la tolérance thermique de deux espèces
— (*Ameiurus nebulosus* L.) (1 162 °C.²)
— (*Oncorhynchus keta*) (468 °C.²)
(d'après J. R. BRETT, 1944, 1952)

Une seule exception apparaît nettement exister dans le cas du Blackbass, *Micropterus salmoides* LACEPEDE que HART (1952) a aussi signalé comme une espèce manifestant des variations géographiques significatives.

La meilleure façon d'élucider ce problème serait de prendre des œufs de populations géographiquement distinctes, et d'effectuer un élevage dans des conditions aussi identiques que possible. On pourrait ainsi établir de façon nette, s'il y a ou non différence géographique de l'espèce, du point de vue de la tolérance thermique.

5. — TEMPERATURES LÉTALES ET CONDITIONS NATURELLES

5.1. — Variations saisonnières de la température létale

BRETT (1944) a effectué des recherches sur les températures létales de nombreuses espèces prises directement dans le lac Opeongo (Ontario), sans acclimatation artificielle préalable au laboratoire.

Il a pu ainsi mettre en évidence un processus d'acclimatation naturel, qui s'effectuait parallèlement aux variations saisonnières de la température moyenne des eaux.

La figure 7 représente sur le même graphique, les températures létales obtenues par BRETT avec le Poisson-Chat *Ameiurus nebulosus* L., et les variations de la température moyenne des eaux du lac Opeongo en fonction de l'époque de l'année.

Nous voyons qu'il se produit une acclimatation saisonnière naturelle, permettant l'adaptation de l'espèce aux nouvelles conditions. Cependant ce phénomène mérite d'être considéré de façon plus précise.

5.2 — Phénomène de sommation dans le processus d'acclimatation

En étudiant en détail l'influence des variations saisonnières du milieu aquatique sur le phénomène d'adaptation thermique, BRETT (1944) a pu mettre en évidence un phénomène de sommation.

En effet, au début de l'année, lorsque la température du lac Opeongo augmente rapidement, la température d'acclimatation est soit plus basse, soit à peu près identique à la température moyenne du lac.

Cette relation ne se manifeste que dans les premiers mois de l'année. Au milieu de juin, la température d'acclimatation augmente de 3 à 4° C au-dessus de la température moyenne des eaux, et correspond alors à la température maximum relevée dans le lac, plutôt qu'à la température moyenne (fig. 8).

Cette relation peut s'expliquer par un phénomène de sommation dans le processus d'acclimatation, qui s'effectue chez le Poisson placé dans son milieu naturel.

On sait que la vitesse d'acclimatation aux températures élevées est plus rapide qu'aux températures basses. Lorsque la température du lac varie, chaque nouvelle élévation provoque une augmentation de l'adaptation thermique, qui n'est perdue ni au cours des chutes de températures nocturnes, ni pendant les périodes de froid de courte durée.

De cette façon, il se produit une sorte de sommation; ce phénomène entraîne ainsi une acclimatation qui s'effectue non plus en fonction de la température moyenne, mais de la température maximum des eaux. Lorsque la période des froids arrive, la température d'acclimatation reste même au-dessus de la température maximum des eaux, à cause de la perte lente de l'adaptation aux températures élevées.

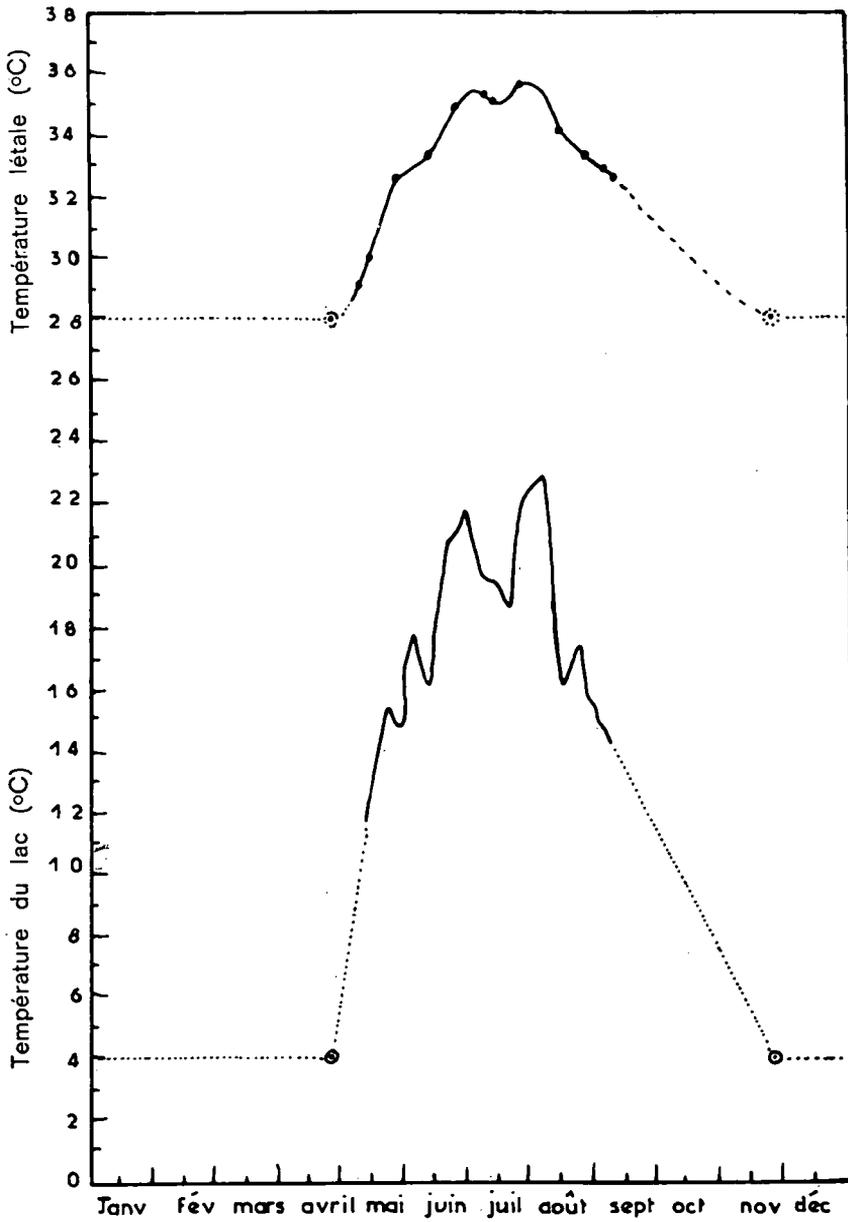


Fig. 7 — Variations saisonnières de la température létale du Poisson-Chat (*Ameiurus nebulosus* L.) du lac Opeongo, 1941, et variations de la température moyenne des eaux de ce lac (d'après J. R. BRETT, 1944)

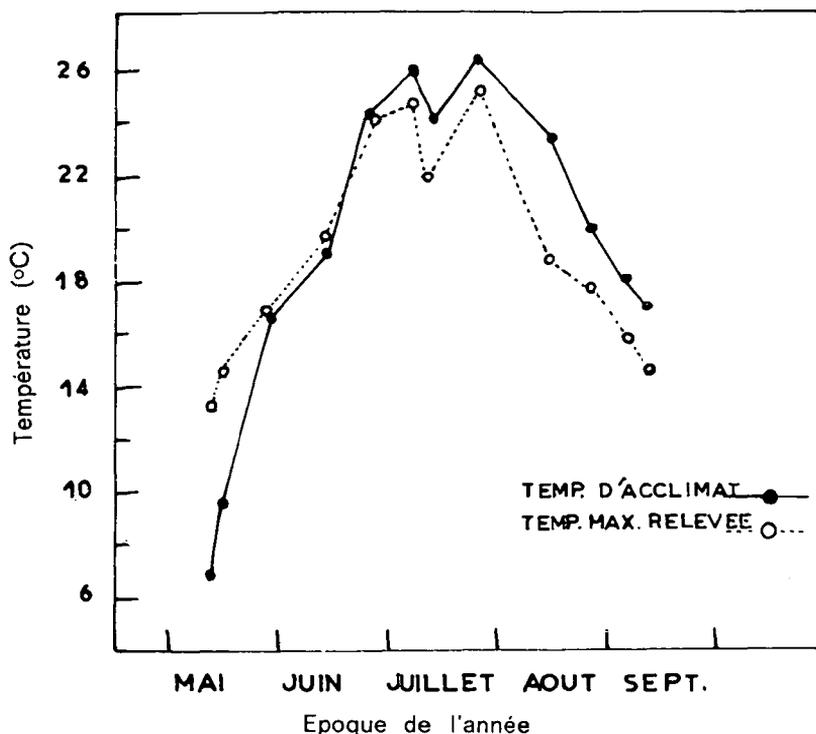


Fig. 8 — Relation entre la température d'acclimatation du Poisson-Chat (*Ameiurus nebulosus* L.) et la température maximum correspondante relevée dans le lac Opeongo en 1941 (d'après BRETT, 1946)

CHAPITRE DEUXIEME

MATÉRIEL DE RECHERCHES ET STOCKAGE

Nous avons utilisé comme matériel d'expérience le Poisson-Chat (*Ameiurus nebulosus* L.), espèce très vorace originaire des U.S.A., et qui, depuis 1871, envahit de nombreuses rivières françaises.

Le choix de cette espèce particulière est dû à deux faits :

— d'une part, le transport et le stockage de ces Poissons robustes posent peu de problèmes ;

— d'autre part, d'après les inventaires piscicoles effectués sur place, les eaux relativement plus tempérées du canal de rejet de la Centrale semblent largement colonisées par cette espèce indésirable.

Les Poissons-chats testés ont été, soit pris lors de pêches électriques exceptionnelles en Seine, soit capturés au moyen de nasses disposées dans le canal de rejet de la Centrale thermique de Montereau, puis stockés sur place dans des viviers, en attendant leur transport à la Station d'Hydrobiologie Continentale de Paris, où ont été effectuées les expériences.

Là, ils étaient placés dans un bassin en ciment de 2 500 litres, installé en plein air et alimenté directement par l'eau de ville.

Les Poissons étant alors soumis à des fluctuations de température suivant l'époque de l'année, et suivant les heures d'une même journée, ce réservoir a été aménagé en bassin de stockage permettant d'avoir sur place une réserve importante de Poissons.

Ces Poissons étaient régulièrement nourris avec des granulés pour Truites, leur fournissant les aliments nutritionnels de base essentiels. L'adaptation à ce mode de nutrition a nécessité souvent plusieurs jours pendant lesquels les Poissons ne prenaient aucune nourriture.

Aucune mortalité massive n'a été observée quand le nombre de Poissons stockés était raisonnable, une vingtaine de kilogrammes étant le maximum, du fait du comportement particulier des Poissons-chats qui ont tendance à se regrouper dans un coin du bassin, et qui, de ce fait, se blessent s'ils sont en trop grand nombre.

Toutefois, nous avons pu souvent remarquer la mort de quelques Poissons dans les premières 24 heures suivant le transport de Montereau à Paris ; ces mortalités occasionnelles étaient dues à deux faits :

— d'une part, les Poissons étaient stockés assez longtemps (une ou deux semaines) à Montereau, dans des viviers grillagés où ils se blessaient (observation de lésions au niveau du museau et des flancs, nageoires plus ou moins déchirées : foyer idéal pour le développement d'infection du type Saprolegnia).

— d'autre part, les Poissons subissaient des chocs au cours du transport, se blessaient mutuellement avec le rayon épineux de leur nageoire dorsale, et de leurs nageoires pectorales, et manquaient parfois d'oxygène (1), ce qui entraînait une légère mortalité à l'arrivée.

Il convient alors de remarquer que les Poissons ayant mal supporté le transport donc moins résistants, n'entrent pas dans le pourcentage de mortalité des expériences concernant les températures létales et risquent donc de donner des résultats légèrement supérieurs à la réalité.

CHAPITRE TROISIEME

TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION ET APPAREILLAGE

Le but de cette série d'expériences est d'établir les limites de résistance du Poisson-chat aux variations de température, ces recherches devant permettre de mettre au point un appareillage et une méthode générale, applicable à toutes les espèces locales.

D'après la mise au point que nous avons tenté d'effectuer dans le chapitre premier, il apparaît que le processus d'acclimatation préalable est essentiel, et il convient donc de bien définir les deux phases que comporte l'expérimentation, à savoir :

1. — période préalable d'acclimatation ;
2. — expériences sur les températures létales.

(1) Cet inconvénient est maintenant en partie supprimé par l'emploi pour le transport, de grands sacs en plastique contenant un peu d'eau (1/4), et gonflés à l'oxygène pur. On obtient ainsi un milieu bien oxygéné qui évite toute anoxie.

Au point de vue appareillage, le système de régulation doit satisfaire aux conditions suivantes :

- maintenir constant un degré thermique déterminé pendant la durée des expériences ;
- garantir une température homogène en tous les points de l'aquarium ;
- permettre, soit une élévation lente de la température afin d'éviter tout « choc » aux Poissons en cours d'acclimatation, soit une élévation brusque de la température pour définir leur résistance.

De plus, certaines conditions (de nutrition, d'oxygénation...) en cours d'expériences doivent être précisées.

1. — PROCESSUS D'ACCLIMATATION

1.1. — Technique d'expérimentation

Pour chaque température d'acclimatation, un groupe de Poissons est choisi aussi homogène que possible (de 40 à 80 Poissons de taille et de poids aussi semblables que possible).

Pour que la détermination des températures létales soit rigoureuse, il faut absolument que l'acclimatation qui suit la période de stabulation soit complète pour une température donnée. L'incertitude de ce fait constitue l'erreur la plus sérieuse dans la méthode des températures létales.

Dans la littérature, la vitesse d'acclimatation généralement reconnue comme la plus valable est de 1°C/jour, et est celle utilisée dans nos expériences. Aucun critère physiologique n'a jamais été nettement établi dans ce domaine.

Il est impossible d'éviter un certain pourcentage de mortalité (très faible) au cours du processus d'acclimatation, bien que les échantillons soient toujours choisis en parfait état sanitaire. Le plus souvent, nous constatons le développement rapide de *Saprolegnia* au cours des élévations successives de température, provoquant la mort au bout de quelques jours.

Il a été reconnu que cette mortalité pouvait être sélective, atteignant les sujets les moins résistants, et donnant de ce fait des valeurs plus élevées pour les températures létales.

De façon générale, tout Poisson mourant en cours d'acclimatation, ou manifestant des troubles anormaux est aussitôt éliminé du lot, de façon à n'avoir en fin d'acclimatation que des Poissons parfaitement sains.

1.2. — Appareillage

L'acclimatation est effectuée dans un aquarium de 200 litres (55 × 30 × 70 cm) installé à l'intérieur du laboratoire et calorifugé avec des plaques de polystyrène expansé (Fig. 9).

Le système se compose d'un aquarium de 200 litres, séparé en deux par une cloison perforée et pouvant de ce fait contenir deux échantillons différents de Poissons, et d'un bac annexe de 40 litres, où s'effectue le réchauffement préalable.

Ce réchauffement a lieu grâce à une résistance de 1 000 watts en épingle double placée au fond du bac. Nous disposons de plus d'une résistance de 500 watts qui peut être utilisée seule (pour un chauffage modéré), ou en parallèle avec la résistance de 1 000 watts (pour un chauffage plus important).

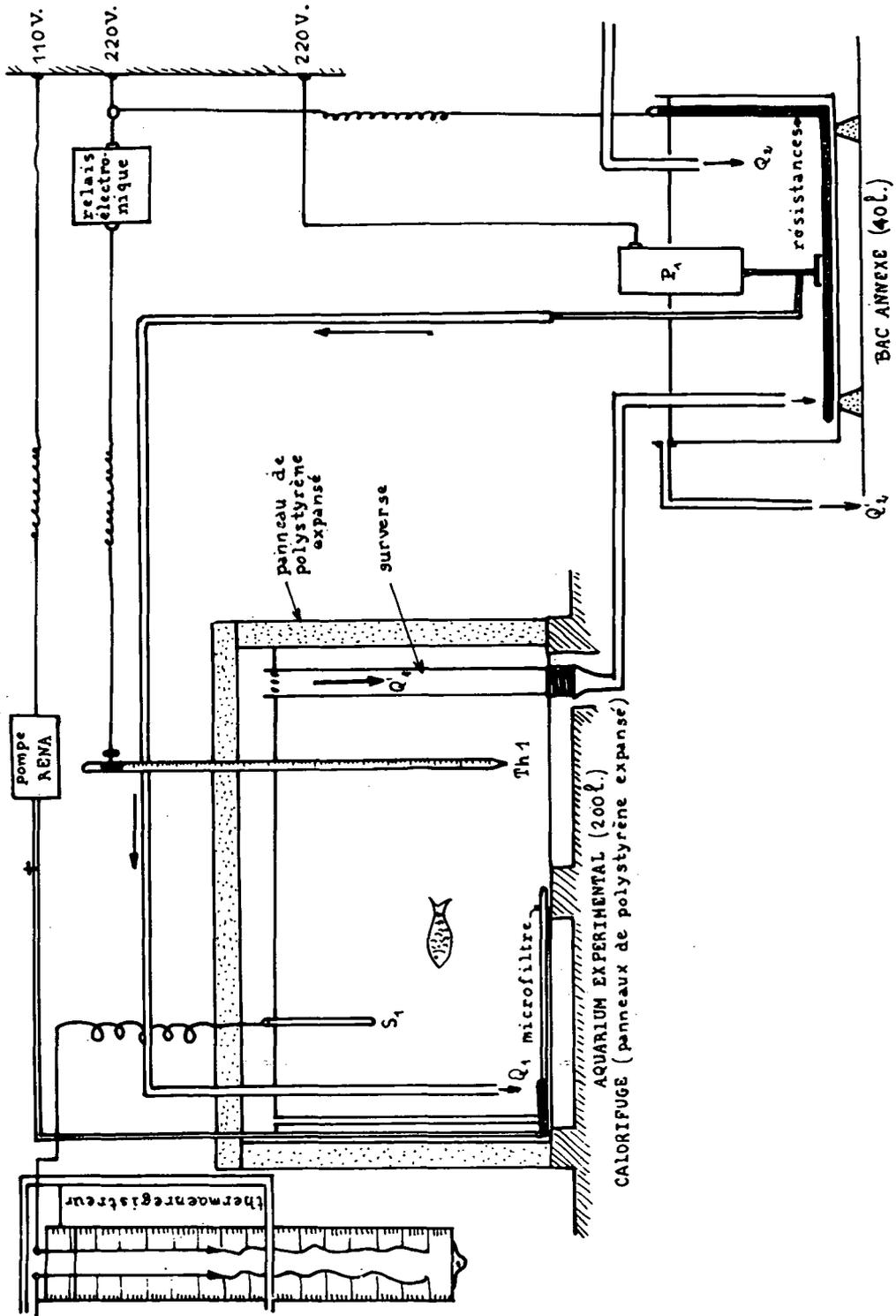


Fig. 9 — Premier système de régulation pour l'acclimatation

La circulation de l'eau s'effectue en circuit ouvert selon le schéma suivant l'eau préalablement réchauffée, est propulsée par une pompe refoulante P_1 dans l'aquarium expérimental (débit $Q_1 = 6$ litres/minute) et revient dans le bac annexe par un système de surverse (débit $Q'_1 = Q_1$). Le tuyau d'arrivée d'eau chaude est placé au fond, de façon que l'on ait sensiblement la même température en tous les points de l'aquarium.

Aucune agitation mécanique n'a été prévue, le mouvement des Poissons suffisant à homogénéiser la température.

Grâce à cette disposition, l'eau chaude a tendance à monter naturellement, et l'eau de surface refroidie par rayonnement est évacuée vers le bac de réchauffement par le système de surverse. De plus, il y a un renouvellement partiel de l'eau du bac annexe. En effet, un tuyau branché directement sur un robinet d'arrivée, fournit continuellement de l'eau au niveau des résistances chauffantes (débit $Q_2 = 2$ litres/minute), et un trop plein, ménagé dans le bac annexe, évacue une quantité d'eau équivalente (débit $Q'_2 = Q_2$).

La salle où se trouvait l'installation présentant de grandes variations de température suivant l'époque et l'heure de la journée, il a été nécessaire de calorifuger les appareils (panneaux de polystyrène expansé et de liège sur les parois des bacs, laine de verre autour des tuyaux d'arrivée et de sortie).

Au début, la régularisation se faisait grâce à un ensemble thermostat (type bilame) — relais électrique — simmerstat ; mais ce système s'est révélé peu sensible et a été abandonné pour un ensemble thermomètre à contact-relais électronique beaucoup plus précis qui permet d'avoir une température constante à $1/2^\circ\text{C}$. près. Le thermomètre à contact Th_1 , placé dans l'aquarium de 200 litres coupe le circuit des résistances du bac annexe lorsque la température voulue est atteinte. De même il ouvre le circuit quand il y a déficit calorifique dans l'aquarium d'expérience.

Les variations de température sont relevées grâce à un thermo-enregistreur. Le bulbe sensible S étant en cuivre (toxique pour les Poissons), il a été recouvert d'une couche fine de résine chimiquement inerte qui l'isole efficacement, sans retarder de façon notable la transcription des températures.

2. — EXPERIENCES SUR LES TEMPERATURES LETALES

2.1. — Technique d'expérimentation

2 méthodes ont été employées ; elles consistent à faire varier la température, soit progressivement, soit brusquement.

— Variations thermiques progressives

Cette dernière méthode a été rapidement abandonnée du fait du nombre restreint de bacs dont nous disposions. L'expérience consistait à prendre un échantillon de Poissons acclimatés à une température donnée, à le soumettre à une augmentation thermique graduelle de 1°C . par jour, à partir de la température d'acclimatation, et à noter le temps de résistance de ces Poissons.

— Variations thermiques brusques

Un échantillon de 5 à 10 Poissons, acclimatés à une température T_1 donnée, est soumis pendant 24 heures à une température constante T_2 supérieure à la température d'acclimatation.

Il y a donc passage brusque d'une température donnée à une température supérieure, ce phénomène se produisant effectivement à l'endroit où les eaux

chaudes du canal de rejet de la Centrale thermique rejoignent les eaux plus froides de la Seine ; à la différence cependant que, sur place, les Poissons ont la possibilité de fuir en quelques instants les eaux dont la température ne leur convient pas, alors qu'au laboratoire, ils sont soumis pendant plusieurs heures à des températures anormales sans possibilité de fuite.

Il a été montré qu'un Poisson capable de survivre pendant 24 heures à des températures exceptionnelles, n'est pas nécessairement capable de tolérer ces températures indéfiniment. Des tests supérieurs à 24 heures apporteraient des données utiles pour caractériser la viabilité relative de l'espèce.

Toutefois, le développement rapide de *Saprolegnia* à une température supérieure à 30° C semble réduire considérablement la résistance des Poissons, et limite ainsi la durée des expériences. C'est pourquoi 24 heures semblent une base raisonnable pour une comparaison valable sans introduire des problèmes supplémentaires.

2.2. — Appareillage

Le montage expérimental se compose d'un aquarium expérimental de 33 litres destiné à contenir les échantillons de Poissons testés. La régulation de cet aquarium s'effectue au 1/4 °C. près grâce à un ultra-thermostat d'une capacité de 14,7 litres équipé d'une pompe P₂ (70 watts), d'un thermomètre à contact Th₂ et d'un jeu de résistances de 500 à 1 000 watts (R' et R'') qui permettent d'avoir une puissance totale de 1 500 watts si on les met en parallèle (Fig. 10).

La circulation de l'eau s'effectue en circuit ouvert selon le principe suivant :

L'ultra-thermostat est alimenté en eau de ville. Du fait des variations de débit de cette eau, un système à niveau constant a été installé entre robinet d'arrivée et ultra-thermostat.

L'eau réchauffée de l'ultra-thermostat est refoulée dans l'aquarium expérimental par une pompe centrifuge. Le débit de cette pompe étant trop important, une partie de cette eau est renvoyée dans l'ultra-thermostat, avant qu'elle n'arrive dans l'aquarium. Une surverse, placée dans l'aquarium, évacue l'eau vers l'extérieur.

Ce système permet d'assurer un renouvellement progressif de l'eau dans l'aquarium, à raison de 0,5 litre/minute.

Les variations de température sont relevées grâce à un thermo-enregistreur, par l'intermédiaire d'une sonde S₂.

3. — CONDITIONS EXPERIMENTALES

3.1 — Nutrition

Nous avons vu que, au cours du stockage, les Poissons sont nourris avec des granulés pour Truites.

La question de la nutrition, de la malnutrition, ou de la non-nutrition au cours des expériences, est très importante et nécessiterait une étude spéciale. BRETT (1944) a effectué des expériences sur ce sujet précis : 3 lots de 25 Poissons-chats, ayant subi la même acclimatation, furent testés dans des conditions rigoureusement identiques, seul le facteur nutrition intervenant comme variable.

Le premier lot était normalement nourri, le deuxième lot n'était pas nourri pendant 25 jours, et le troisième lot pendant 40 jours. Aucune différence apprê-

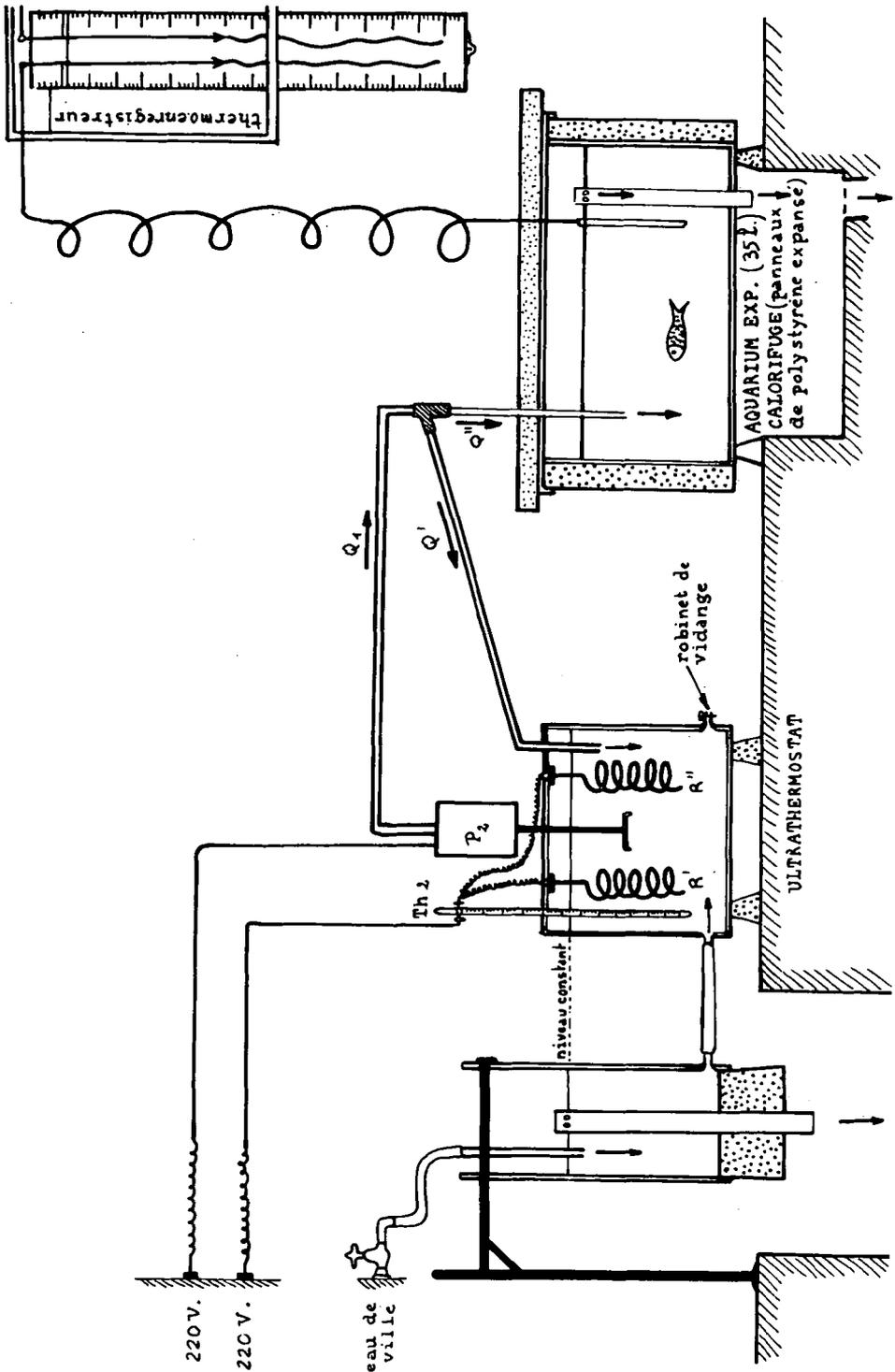


Fig. 10 — Deuxième système de régulation pour les expériences de températures létales

ciable de la température létale, même pour les Poissons non nourris pendant 40 jours, n'a été obtenue ; bien que notablement amaigris, ces Poissons semblaient en bonne santé.

On peut donc conclure que la non nutrition pendant 25 jours et même 40 jours n'a pas d'effet significatif sur la résistance du Poisson-chat à des températures élevées pour des expériences de 12 heures. Ces observations recourent les conclusions de KROGH (1939) sur *Ameiurus nebulosus* L.

C'est pourquoi nous n'avons nourri les Poissons-chats, ni pendant la phase d'acclimatation, ni au cours des expériences de létalité.

3.2. — Oxygénation

Dans ces expériences, seul le facteur température doit varier. Il est malheureusement très difficile d'éliminer l'influence de nombreux autres facteurs, comme les variations de luminosité, d'oxygénation . . .

Les propriétés physiques et chimiques de l'eau (salinité en particulier), ont été supposées constantes, et n'ont pas été contrôlées, puisque la composition de l'eau alimentant les aquariums était, de toute façon, différente de celle de la Seine au niveau de la Centrale thermique de Montereau.

Par contre, la teneur en oxygène dissous est un facteur déterminant du milieu, car il devient rapidement un facteur « limitant », si aucune précaution n'est prise pour garder un certain pourcentage de saturation. Pour éviter un manque d'oxygène (fréquent aux températures élevées), il a été prévu un système d'aérateur Belbul, installé aussi bien dans le bac d'acclimatation que dans celui d'expérimentation, pour que le taux d'oxygène dissous soit toujours suffisant, et n'intervienne pas dans l'interprétation des résultats. Des dosages par la méthode de WINKLER ont été effectués chaque fois qu'une mortalité anormale se manifestait.

(à suivre)
